

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Frézování austenitických ocelí vysokými posuvy

Milling of Austenitic Steels with High Feed Rates

Student:

Petr David

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Zadání bakalářské práce

Student:

Petr David

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Frézování austenitických ocelí vysokými posuvy
Milling of Austenitic Steels with High Feed Rates

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika.
2. Obrábění austenitických ocelí.
3. Problematika vysokoposuvového frézování.
4. Diskuse experimentů.
5. Technicko - ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [2] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábění*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [3] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2003, 150 s. ISBN 80-248-0237-6.

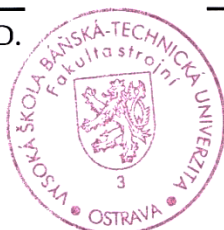
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Tato práce byla vypracována se souhlasem vedení společnosti Pramet Tools s.r.o. v Šumperku.

V Ostravě dne 16. 5. 2016



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 16. 5. 2016



podpis studenta

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Horova 5 Šumperk

787 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DAVID, P. Frézování austenitických ocelí vysokými posuvy. Ostrava: Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016, 44 s. Bakalářská práce, vedoucí práce: Vrba, V. a Binder, M.

Bakalářská práce se zabývá problematikou frézování austenitických ocelí vysokými posuvy. V první části je popsána stručná historie a orientace společnosti Dormer Pramet a stručné rozdělení austenitických ocelí. Druhá část práce je zaměřena na frézování vysokými posuvy, popisu austenitické oceli a analýzu vybrané konkurence a nástrojů společnosti Dormer Pramet. V hlavní části této práce jsou popsány funkční a trvanlivostní zkoušky obrábění prototypových břitových destiček a fréz. V poslední části Bakalářské práce je uvedeno vyhodnocení zkoušek obrábění, které byly zaměřeny na zkoušky drsnosti povrchu, zatížení včetně stroje a zkoušky trvanlivosti. V závěru této práce se nachází ekonomické shrnutí testovaných řešení.

Klíčová slova: HFC, Frézování vysokými posuvy, austenitická ocel, Dormer Pramet

ANNOTATION TO BACHELOR THESIS

DAVID, P. Milling of Austenitic Steels with High Feed Rates. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2016, 44 p. Bachelor thesis, heads: Vrba, V. and Binder, M.

The Bachelor thesis deal with questions of high feed milling of austenitic stainless steels. In the first part is described history and orientation of company Dormer Pramet and short partition of austenitic steels. The second part is focused on high feed milling, description of austenitic stainless steel and analysis of chosen competitor tools and Dormer Pramet tools. In the main part are described functional and durability tests with prototypes of indexable inserts and mills. The final part of Bachelor thesis is evaluation of cutting tests, focused on surface roughness tests, load of milling machine and durability tests. In the end there is economical part summarizing of tested solutions.

Keywords: HFC, High Feed Cutting, Austenitic Steel, Dormer Pramet

Poděkování

Velmi moc bych chtěl poděkovat mému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. za jeho připomínky a konzultace, které se týkaly této práce. Dále mé poděkování směřuje k panu Ing. Martinu Binderovi, Ph.D. ze společnosti Dormer Pramet za vstřícný přístup, konzultaci a odborné vedení v této problematice.

Obsah

1	Obecná charakteristika daného problému	10
1.1	Společnost Dormer Pramet	10
2	Obrábění austenitických ocelí	12
2.1	Obecné pojmy obrábění	12
2.2	Charakteristika austenitických ocelí	13
2.3	Složení austenitických ocelí	14
2.4	Obrobitelnost austenitických ocelí	16
2.4.1	<i>Obrobitelnost z hlediska způsobu výroby a tepelného zpracování</i>	<i>16</i>
2.5	Požadavky kladené na stroj a nástroj	17
3	Problematika vysokoposuvového frézování (HFC)	19
3.1	Charakteristika vysokoposuvového frézování HFC	19
3.2	Břitové destičky používané pro vysokoposuvové frézování	22
3.3	Výhody vysokoposuvového frézování	22
3.4	Axiální frézování	24
4	Diskuse experimentů	25
	Analýza vybrané konkurence a nástrojů Dormer Pramet	25
4.1	Konkurenční nástroje pro HFC Ingersoll	25
	<i>Oboustranné čtverce</i>	<i>25</i>
	<i>Oboustranné pětiúhelníky</i>	<i>26</i>
4.2	Nástroje Dormer Pramet	27
	<i>Oboustranný čtverec</i>	<i>27</i>
	<i>Oboustranný pětiúhelník</i>	<i>28</i>
4.3	Funkční zkoušky obrábění	29
4.3.1	<i>Frézovací centrum</i>	<i>30</i>
4.3.2	<i>Vlastnosti obráběného materiálu</i>	<i>31</i>
4.3.3	<i>Volba řezných podmínek pro funkční zkoušky</i>	<i>32</i>
4.4	Zkoušky obrábění na trvanlivost	32
4.4.1	<i>Volba řezných podmínek pro zkoušku trvanlivosti</i>	<i>33</i>
4.5	Vyhodnocení funkčních zkoušek	33
4.5.1	<i>Vyhodnocení zatížení vřetene</i>	<i>34</i>
4.5.2	<i>Vyhodnocení měření drsnosti povrchu</i>	<i>35</i>
4.6	Vyhodnocení – zkoušek obrábění na trvanlivost	36
5	Ekonomické vyhodnocení	39
6	Závěr	40
7	Seznam použité literatury	42

Seznam použitých značek

Zkratka/symbol	Popis	Jednotka
HSC	vysokorychlostní obrábění (<i>High Speed Cutting</i>)	
HC	tvrdé obrábění (<i>Hard Cutting</i>)	
DC	suché obrábění (<i>Dry Cutting</i>)	
HPM	vysokovýkonové obrábění/ frézování (<i>High Produktivity/ Performance Machining</i>)	
HPC	vysoce výkonné obrábění (<i>High Performance Cutting</i>)	
HFC/ HFM	vysokoposuvové frézování (<i>High feed cutting/ milling</i>)	
HRC	tvrdost dle Rockwella	[-]
HB	tvrdost podle Brinella	[-]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
PVD	metoda povlakování (<i>Physical Vapour Deposition</i>)	[-]
Q	úběru materiálu	[cm ³ ·min ⁻¹]
fz	posuv na zub	[mm]
ap	axiální hloubka řezu	[mm]
Rm	mez pevnosti	[MPa]
Ret	mez kluzu v tlaku	[MPa]
ae	šířka záběru	[mm]
vc	řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
n	otáčky nástroje	[min ⁻¹]
T	trvanlivost	[min]
Ra	průměrná aritmetická úchylka	[μm]
z	počet zubů	[-]

Úvod

Frézování austenitických ocelí vysokými posuvy je jedno z velmi náročných obráběcích procesů. Cílem těchto procesů je navržení takových podmínek obrábění, které se následně ukáží jako ideální z hlediska ekonomiky a hospodárnosti dané technologie. Je kladen velký tlak ze strany firem na úspěšné zvládnutí této problematiky. Aby však bylo možné dosáhnout nejlepšího výsledku při obrábění, je nezbytné klást také vyšší požadavky na kvalitu řezného procesu.

Frézování vysokými posuvy (HFC) je metoda obrábění na kterou bývá kladen nárok ke snížení strojního času, což vede k větší produktivitě a efektivitě, kvůli tomu je nutný vývoj nových nástrojů, které budou odolávat silám působící na vřeteno. Výrobou těchto nástrojů pro vysokoposuvové obrábění se zabývá spousta firem jako například Ingersoll, Dormer Pramet, LMT fette, Mitsuhbishi nebo Sandvik.

Toto téma bylo vypracováno na základě podnětu zmíněné společnosti Dormer Pramet, která sídlí v Šumperku. Tato firma se zabývá nejen danou problematikou, což bylo hlavním impulzem pro vypracování této práce, ale i výrobou nástrojů pro obrábění jako takové.

1 Obecná charakteristika daného problému

Frézování korozivzdorných ocelí je jedno z nejnáročnějších procesů obrábění. Aby se docílilo nejlepšího úběru materiálu, je potřeba navrhnout takové nástroje a vyměnitelné břitové destičky, které při úběru materiálu budou zanechávat kvalitně obrobený povrch, tak aby nedošlo k povrchové deformaci obrobku. Tuto problematiku neřeší jen tato bakalářská práce, která se zabývá převážně problematikou frézování austenitických ocelí, ale i společnost Dormer Pramet. Tato společnost se zabývá výrobou a vývojem řezných nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami.

V bakalářské práci se budeme soustředit na volbu vhodných řezných podmínek, pro již zhotovené břitové destičky. Byly zhotoveny břitové destičky typu, oboustranný čtverec a oboustranný pětiúhelník. Od každého ze zástupců těchto konkrétních destiček, společnost zhotovila dvě odlišné sady s rozdílnou geometrií břitu.

Dále provedeme experiment, díky kterému budeme moci dojít k závěru, která ze dvou navržených destiček bude mít lepší trvanlivost a funkčnost. Volbou vhodných řezných podmínek budeme sledovat zatížení vřetene a povrchovou drsnost obráběného materiálu. Na základě těchto zkoušek společnost rozhodne, zda začlenit destičku do výroby či nikoli. V závěru provedeme ekonomické zhodnocení těchto zkoušených prototypů.

1.1 Společnost Dormer Pramet

Jak bylo zmíněno v úvodu bakalářské práce, téma bylo vypracováno ve spolupráci se společností Dormer Pramet, která začala svoji výrobu v roce 1951 v Šumperku. V roce 2014 došlo ke sloučení se společností Dormer, která vyráběla převážně monolitní nástroje. Spojením těchto dvou značek nesoucí společný název Dormer Pramet, přineslo významné doplnění sortimentu na trhu. V současné době se společnost specializuje na výrobu nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Díky tomuto spojení dvou společností mají obě dvě značky bohatou historii. Společnosti nabízí celou řadu nástrojů ve vysoké kvalitě, jako například monolitní nástroje a nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami pro soustružení, frézování, vrtání a závitování.[1]

Společnost Dormer Pramet je známá svými výkonnými nástroji pro frézování, jak drobných obrobků, tak i velkých součástí, které potřebují opravdu velké nástroje. Dormer Pramet a i konkurenční společnosti, jsou si dobře vědomy nutnosti výroby nových nástrojů pro frézování korozivzdorných ocelí. Světová konkurence nabízí celou škálu HFC nástrojů

pro frézování korozivzdorných ocelí. Konkurenční nástroje jsou sice odlišně konstrukčně řešeny, ovšem princip fungování je konec konců u všech nástrojů stejný. Záměrem těchto nástrojů je při výrobě VBD snížit nároky na jednu řeznou hranu destičky. Proto se oddělení vývoje snaží navrhnout VBD oboustranné, s co nejvíce řeznými hranami, čímž se snižují nároky na jednu řeznou hranu a tím se logicky snižuje také cena celé VBD. Firma Dormer Pramet se chce přiblížit ke konkurenčním firmám a také vyrábět co nejvýhodnější VBD z hlediska ceny a především kvality. Největší a nejznámější firmy, které konkurují společnosti Dormer Pramet na světovém trhu, jako příklad jsou zde uvedeny tyto společnosti: Ingersoll, LMTfette, Mitschubishi, Sandvik nebo Kennametal. [1]

V současné době firma Dormer Pramet zahrnuje kromě nástrojů rovněž širokou nabídku vyměnitelných břitových destiček. V tomto konkrétním sortimentu je velké množství materiálů a geometrií, které jsou opatřeny PVD povlaky. Materiály s těmito PVD povlaky se vyznačují vysokou flexibilitou. Nejuniverzálnějšími materiály jsou materiály 8230 a 8240. Vyměnitelné břitové destičky z toho materiálu mohou být při volbě vhodné geometrie schopné obrábět od měkkých ocelí, přes korozivzdorné, žáruvzdorné i žárupevné oceli, až po litiny s velkým podílem nečistot v povrchové kůře. Materiál 8240 je určen pro nejtěžší záběrové podmínky a pro velmi houževnaté materiály. Pro stabilní podmínky i pro frézování zušlechtěných ocelí a litin společnost nabízí materiál 8215. Díky výkonným materiálům nabízí společnost svým zákazníkům nejmodernější geometrie VBD. Dormer Pramet je značí písmeny F (lehké a dokončovací frézování), M (univerzální použití) a R (hrubovací frézování). V poslední době se společnost soustředí také na obrábění austenitických ocelí. [1]

2 Obrábění austenitických ocelí

Austenitická ocel se vyznačuje převážně svou dobrou houževnatostí i při nízkých teplotách. Austenitické oceli mají široké uplatnění v praxi, austenitická korozivzdorná ocel se používá například v potravinářském průmyslu a samozřejmě ve strojírenství. Obrábění těchto ocelí je složitým technologickým procesem, z tohoto důvodu je nutné, na začátek uvést obecné pojmy obrábění. [2]

2.1 Obecné pojmy obrábění

Technologie obrábění je velmi rozsáhlý vědní obor, který zkoumá obráběcí procesy strojních součástí. Do obecných pojmů, lze bez pochyb zařadit velké množství termínů. Jedny z nejdůležitějších pojmů jsou však obrobiteľnosť a řezivost, tyto pojmy jsou z hlediska technologie obrábění nejpoužívanější a nejdůležitějších vlastností materiálu. [2]

Obrobiteľnosť

Pojmem obrobiteľnosť se rozumí technologická vlastnost materiálu obrobku, která určuje snadnost nebo obtížnost obrábění daného obrobku. Obrobiteľnosť, můžeme definovat výsledkem fyzikálních a chemických vlastností materiálu, jako například pevnost, tvrdost, houževnatost, chemické složení nebo struktura. Obrobiteľnosť však dále závisí na způsobu obrábění, zejména však na zvolených řezných podmínkách a na geometrii břitu. Obrobiteľnosť je ovlivněna mnoha faktory, zejména však:

- fyzikálními vlivy – mechanickými vlastnostmi kovů, jako je pevnost, tvrdost, tažnost, houževnatost a tepelnými vlastnostmi
- chemickým složením
- mikrostrukturou – druhy, velikosti, tvar a orientace daných krystalů
- způsobem výroby a tepelným zpracováním [2]

Řezivost

Řezivost je souhrn technologických vlastností materiálů břitu řezného nástroje, které komplexně ovlivňují výkonnost řezného nástroje. Řezivost je dána výsledkem fyzikálních a chemických vlastností, jako například pevnost a tvrdost při vyšších teplotách, chemické složení materiálu, struktura materiálu nebo houževnatost. Kritériem řezivosti je v převážné míře intenzita opotřebení břitu při konkrétních řezných podmínkách, tedy odolnost proti mechanickému a tepelnému namáhání.[2]

Technologické pojmy jako obrobitelnost a řezivost jsou spolu úzce spjaty, zkoušky obrobitelnosti a řezivosti jsou principiálně podobné. Jediný rozdíl při těchto zkouškách je, že při obrobitelnosti je zkoumán obráběný materiál, ovšem při řezivosti je zkoumán především řezný materiál.[2]

Kritéria obrobitelnosti a řezivosti:

- otupování břitu a trvanlivost břitu
- řezné síly a momenty
- teplota řezání
- kvalita obrobeného povrchu (většinou drsnost)
- tvar vznikající třísky [2]

2.2 Charakteristika austenitických ocelí

Austenitické oceli se řadí do mnoha skupin korozivzdorných ocelí, které nám dokáží poskytnout velmi dobré mechanické vlastnosti, dokonce i přijatelnou zpracovatelnost a zejména pak odolnost proti korozi, výrazně roste se zvětšováním chromu a molybdenu. Tyto oceli jsou také dobře svařitelné a velmi dobře odolávají rázům a ohybu. Při těchto rázech a ohýbání, má materiál snahu nevytvářet trhliny a to ani při nízkých teplotách. Tepelným zpracováním získáváme homogenní tuhý roztok, korozní odolnost díky rozpuštěním karbidů. Dále při tepelném zpracování potlačujeme zpevnění, které vzniká tvářením za tepla či za studena, při tomto procesu by se mělo vyloučit co největší množství uhlíku na stálé karbidy. Ohřev při tepelném zpracování se pohybuje v rozmezí teplot 950 °C až 1150 °C a to podle druhu oceli s následným rychlým ochlazením. Ochlazení se provádí buďto ve vodě nebo na vzduchu. Tento proces ohřevu a následného ochlazení se nazývá rozpouštěcí žihání. Na základě tohoto technologického postupu se oceli stávají nemagnetické. Protože našim úkolem je dosáhnout nejlepších mechanických vlastností a požadované korozivzdornosti, musíme přidat další legující prvky. Základní charakteristické vlastnosti těchto doprovodných prvků jsou:[3; 4]

- celková korozní odolnost (*Cr*, *Mo*, *Cu*, *Si*, *Ni*),
- mechanické vlastnosti (*N*),
- obrobitelnost (*S*, *Se*, *P*, *Pb*, *Cu*),
- odolnost proti bodové a štěrbinové korozi (*Mo*, *Si*, *N*)

- odolnost proti mezikrystalové korozi (Ti, Nb)
- žáruvzdornost (Cr, Al, Si, Ni)
- odolnost proti praskavosti svarů (Mn) [3; 4]

Austenitické oceli nejsou tak náchylné k fázovým přeměnám a jsou nemagnetické, jak už bylo zmíněno v úvodní části tohoto tématu. Pevnost těchto ocelí lze možno zvýšit jediným možným způsobem a to legováním například přísadou dusíku. U některých typů oceli, můžeme použít technologii tváření za studena, pēchování nebo tažení, tento způsob zvýšení pevnosti oceli je používán u ocelí s menším obsahem austenitu. Pokud při, tepelném zpracování nebo svařování dojde k pomalému ochlazování ocelí, přibližně v rozmezí 600 až 800 °C, tak materiál začne vylučovat karbidy v oblasti hranice zrn. Protože, zmíněná oblast v kyselém prostředí je chudá o chrom, tak dochází k vzniku mezikrystalové koroze. Tomuto nežádoucímu jevu je možno zabránit prostřednictvím změny chemického složení a to přidáním velmi nízkého obsahu uhlíku (C) a přísad Titanu (Ti) respektive Niobu (Nb). Výchozím stavem pro užití austenitických ocelí je rozpouštěcí žíhání, toto žíhání se provádí při teplotách nad 1000 °C, z této teploty se následně rychle ochlazuje na normální teplotu. Austenitické korozivzdorné oceli se vyznačují dobrou svařitelností a také svou houževnatostí při nízkých teplotách. Existuje spousta druhů a modifikací těchto ocelí. [5]

2.3 Složení austenitických ocelí

Austenitické korozivzdorné oceli můžeme rozdělit podle obsahu základních slitinových prvků na chromniklové, chrommanganniklové a chrommanganové.[6]

Oceli na odlitky mají podobné základní složení jako oceli k tváření, liší se pouze v obsahu uhlíku, který je poněkud vyšší. Austenitické oceli především tvárné a velice houževnaté, jejich velká tažnost, zúžení a vrubová houževnatost při nízkých teplotách, je zaručenou výhodou těchto ocelí. Jejich velké využití nalezneme při transportu nebo uskladnění tekutých plynů. Tyto oceli se díky tvářením za studena značně zpevňují, což způsobuje vysoká pevnost při malé mezi kluzu. Aby bylo možné využít austenitické oceli při nízkých teplotách, je nutné dostatečně zajistit strukturní stabilitu. Využití těchto ocelí je velmi pestré, používají se například v chemickém, farmaceutickém, energetickém nebo chemickém průmyslu. Dále se mohou používat při výrobě kuchyňských potřeb například hrnců nebo pánví, v dopravě, architektuře nebo ve stavebnictví. [6]

Chrómníkové oceli obsahují 12 až 25 % chrómu, 8 až 38% niklu, 0,01 až 0,15 % uhlíku a jsou legované molybdenem, dusíkem, mědí, křemíkem, popř. stabilizované titanem a niobem pro zvýšení mechanických vlastností a korozní odolnosti [3; 4].

Chrómmanganníkové oceli obsahují 12 až 22 % chrómu, 5 až 12% manganu, 3 až 8 % niklu, 0,02 až 0,15 % uhlíku, dále jsou též legované dusíkem, molybdenem a mědí, popř. stabilizované titanem a niobem s vyššími mechanickými vlastnostmi a odolností proti korozi [3; 4].

Chrómmanganové oceli obsahují 10 až 18 % chrómu, 14 až 25 % manganu, 0,02 až 0,08 % uhlíku a jsou také legované dusíkem, molybdenem a mědí, popř. stabilizované titanem a niobem [3; 4].

Příklady legujících prvků, které ovlivňují vlastnosti austenitických ocelí:

Chrómu, ovlivňuje vlastnosti austenitické oceli tím, že zajišťuje pasivovatelnost ocelí, důležitou podmínkou pro pasivaci je, že obsah chrómu v tuhém roztoku musí být vyšší než 11,5% . Díky rostoucímu obsahu chrómu se zvyšuje korozní odolnost, zejména pak v prostředí oxidace.

Nikl, naproti tomu stabilizuje austenit při normální teplotě a zvyšuje tím korozní odolnost v redukčních kyselinách. Společně s chrómem patří k nejdůležitějším prvkům, které napomáhají ocelím nekorodovat. Ovšem díky své velké ceně je v praxi nahrazován manganem.

Mangan, je výrazný austenitotvorný prvek. Díky koncentraci nad 3 %, dokáže snížit praskavost svarů, ale výrazně zhoršuje obrobiteľnosť.

Dusík, výrazně zvyšuje pevnostní hodnoty a společně s molybdenem dokáže zvýšit odolnost štěrbinové a bodové koroze. Dusík je dalším austenitotvorným prvkem jako uhlík.

Křemík, dokáže vyvolávat praskavost ve svarech, ovšem při koncentraci 3 nebo 4 % dokáže odstranit náchylnost k mezikrystalové korozi a výrazně zvýšit odolnost proti korozi ve vroucí HNO₃.

Molybden, ovlivňuje vlastnosti materiálu tím, že dokáže zvýšit žárupevnost a podporuje vylučování intermediálních fází. Nazývá se feritotvorným prvkem, díky tomu je nutné po jeho aplikaci zvýšit obsah Ni nebo jiného austenitotvorného prvku, aby došlo k zachování austenitické struktury. Molybden dále zvyšuje odolnost proti korozi, dá se říct, že ve všech prostředích, dokonce i v již zmiňovaných HNO₃ roztocích.

Měď, je slabý austenitotvorný prvek, který má tendenci zvyšovat korozní odolnost v prostředí H_2SO_4 a zlepšuje obrobiteľnosť.

Titan a niob, je karbidotvorný prvek, který má vysokou afinitu k uhlíku v matici, což způsobí stabilizaci oceli. Tyto prvky se přidávají do vytvrditelných ocelí. Struktura závisí na kombinaci obsahu feritotvorných a austenitotvorných prvků ocelí. [7; 8]

2.4 Obrobiteľnosť austenitických ocelí

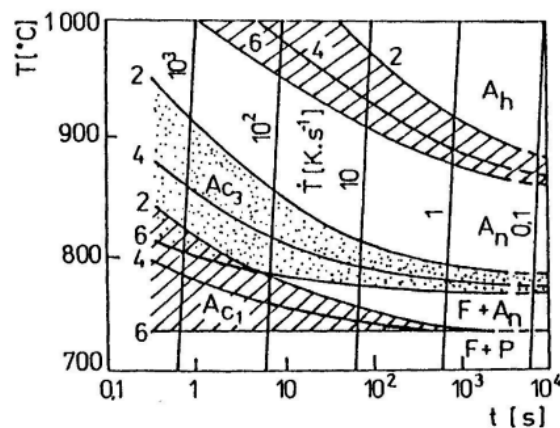
Z korozivzdorných ocelí, jsou austenitické oceli nejvíce těžkoobrobiteľné. Obrobiteľnosť austenitických ocelí je nepříznivě ovlivněna hlavně tím, že má velký sklon ke zpevňování za studena, také hlavně svou špatnou tepelnou vodivostí a velmi dobrou houževnatostí. Nejdůležitějším prvkem, jenž přispívá k zlepšení dané obrobiteľnosti austenitických ocelí, je bezpochyby síra. Oceli, které jsou určeny především k třískovému obrábění je možno rozdělit do dvou základních skupin. Pokud praxe vyžaduje speciální užití těchto ocelí je možno použít speciální automatové oceli. Obsah síry v automatových ocelích je 0,15 až 0,35%. Síra společně s manganem vytvoří sulfid manganu, tento sulfid má pozitivní účinek na obrobiteľnosť oceli. Podporuje lámavost třísky na drobné částice, hladký povrch obrobku a také menší opotřebení nástroje. Automatové oceli mají mírně zvýšenou náchylnost na odolnost korozivzdornosti, této náchylnosti je třeba si povšimnout. Oceli, které patří do druhé skupiny mají 0,015 až 0,030 % obsahu síry. Tyto obsahy jsou však pod mezní hodnotou, kterou určuje norma. Norma určuje především nastavení definované velikosti, počet a rozložení sulfidů v příčném profilu materiálu. V porovnání se standardními oceli, které mají výrazně nižší obsah síry, dosahuje vyšších řezných rychlostí. Má daleko větší trvanlivost nástroje a to až o 100%. Pokud porovnáme tyto oceli s automatovými tak tyto hodnoty budou určitě nižší. [9]

2.4.1 Obrobiteľnosť z hlediska způsobu výroby a tepelného zpracování

Obrobiteľnosť austenitických ocelí je ovlivněna také vlivem způsobu zpracování. Pokud má například tažená tyč austenitické oceli index 1, tak u výkovku se z pravidla dává 0,8 a u odlitku 0,6.

Obrobiteľnosť lze zvýšit bezpochyby u všech jednotlivých druhů austenitických ocelí, používá se převážně austenizační žíhání, které se provádí při teplotách 1000 až 1100 °C a poté následné ochlazení vodou. Tímto žíháním dojde k rozpuštění tvrdých karbidů a dosáhne se stejnoměrné austenizační struktury. K dalšímu zlepšení obrobiteľnosti některých ocelí se dosáhne popouštěním. Popouští se na teplotu 600 až 900 °C, díky tomu vznikne sorbitická struktura, tato struktura je lépe obrobiteľná.

Oceli se dodávají ve stavu žíhaném naměkko a taženém za studena. Žíhání naměkko je ve své podstatě žíhání bez překrystalizace, tato překrystalizace, která se provádí u ocelí ke snížení tvrdosti, ale k výraznému zlepšení obrobitelnosti. Po žíhání naměkko jsou tyto austenitické oceli rychle ochlazovány, tímto ochlazováním se zajistí odolnost proti korozi a zachová se obrobitelnost. Při malém ochlazování vodou může dojít k vytvoření abrazivních karbidů na hranici zrna. Tvoří se daleko menší otřepy, snižuje se nežádoucí a nebezpečné vytváření nárůstků na břitu a odstraňují se problémy pro řezání závitů. Výhodné je také zpracovávání austenitických ocelí, které jsou ve stavu po mírném tažení za studena. Ve většině případů se jeví rovněž zpracovávání austenitické oceli ve stavu po mírném tažení za studena. V mnoha případech mají austenitické oceli problémy s obráběním, tyto problémy jsou vyvolané vytvářením nárůstků, sníženou jakostí obrobené plochy, tvořením otřepů nebo nepříznivým utvářením třísky. Oceli, které bývají tažené za studena se v tomto směru jeví, jako daleko výhodnější. [10]



Obr. 2.1 Diagram austenitizace: 2 – globulární perlit; 4 – sorbit; 6 – martenzit [10]

2.5 Požadavky kladené na stroj a nástroj

Požadavky kladené na obráběcí stroj při obrábění austenitických ocelí

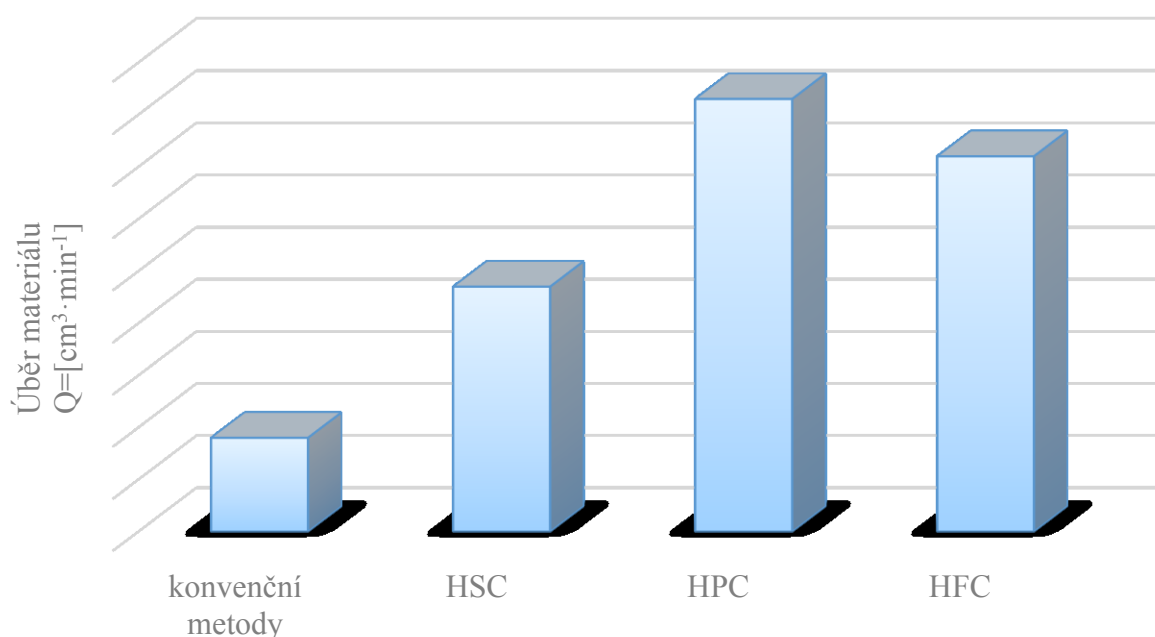
- stroje se stabilní konstrukcí
- spolehlivost chodu vřetene
- odpovídající chladicí kapalina
- odvod tepla ze zóny obrábění
- řezná kapalina se musí při frézování použít, když se obrábí nízkými reznými rychlostmi nebo pokud se obrábí tvarové

Požadavky kladené na nástroj při obrábění austenitických ocelí

- použití nástroje s co nejmenším vyložení
- nejstabilnější upnutí nástroje
- použití modulárních nástrojů s vysokou tuhostí
- použití pozitivního úhlu čela a velkého úhlu hřbetu
- použití nejmenší fazetky
- zvolení nejvhodnější geometrie
- frézovat sousledně
- použití nástrojů z rychlořezných materiálů nebo ze slinutých karbidů [11]

3 Problematika vysokoposuvového frézování (HFC)

Progresivní metody obrábění prochází v posledních letech velkými vývoji a rozvoji. Do těchto progresivních metod obrábění patří: HSC (High Speed Cutting) - vysokorychlostní obrábění, HC (Hard Cutting) - tvrdé obrábění, DC (Dry Cutting) - suché obrábění, HPM (High Produktivity/ Performance Machining) - vysokovýkonové obrábění/ frézování, HPC - (High Performance Cutting) - vysoce výkonné obrábění a HFC/ HFM (High feed cutting/ milling) – vysokoposuvové frézování. Následující graf porovnává tyto produktivní metody obrábění z hlediska úběru materiálu $Q=[\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$ [12]



Graf 3.1 Srovnání obráběcích metod z hlediska úběru materiálu [12]

3.1 Charakteristika vysokoposuvového frézování HFC

Frézování vysokými posuvy je bezpochyby produktivní metodou frézování, která dokáže umožnit v určitých případech až 3x rychlejší obrábění než je tomu u obrábění klasického. Snahy po všeobecném zvýšení produktivity obrábění zkrácením strojních časů motivují firmy pro vývoj nových nástrojů i nástrojových materiálů u všech profesí obrábění.[9]

Objektivním kritériem výkonnosti frézy je objem materiálu odebraný z obrobku za jednotku času, nejčastěji za minutu.[9]

Výkon frézování lze proto zvýšit:

- a) Volbou vyšších otáček vřeten – specifickým případem je tzv. Rychlostní frézování

- b) Volbou nástrojů s větším počtem zubů – to je využitelné pouze u specifických operací, omezující podmínkou je zde obráběný materiál, výkon a tuhost stroje.
- c) Volbou podstatně vyšších posuvů fz (HFC) [9]

Frézování vysokými posuvy (HFC) je speciální metoda obrábění, kde využíváme extrémních rychlostí posuvu při malých axiálních hloubkách řezu. Za předpokladu, že použijeme malou hloubku řezu $a_p = 3$ [mm], použijeme vhodnou břitovou destičku daného průměru a typu, můžeme pomocí vysokého posuvu na zub až $f_z = 3$ [mm] odstranit přes 1400 cm^3 materiálu za minutu a také dosáhnout větší životnosti stroje. Tyto data svědčí o tom, že se jedná o velmi produktivní metodu obrábění. Nalezneme případy, kdy můžeme zvýšit rychlost posuvu řádově až na deseti násobek, tento příklad ovlivňuje právě menší hloubka řezu, ale daleko větší rychlost posuvu umožní výrazně zkrátit obráběcí dobu každé součásti. Tato operace je spíše hrubovacím procesem, ale i tak je možno dosáhnout finální obrobene plochy. Tento skok hrubovacího procesu nám umožní opětovné ušetření strojního času a také nákladu, protože nástroj nám nabízí rovnou finální proces. [9, 13]

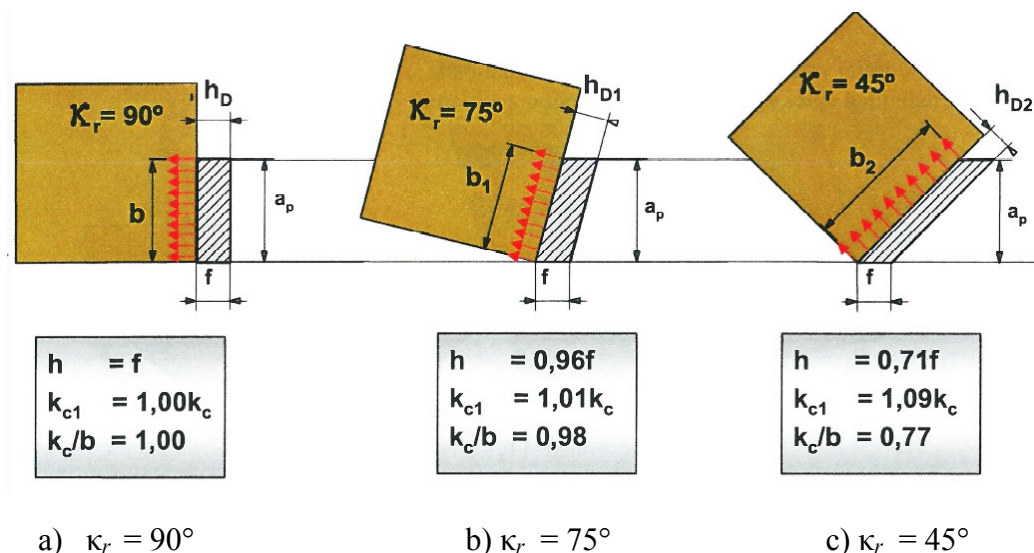
U stávajících tvarů vyměnitelných břitových destiček je velikost posuvu f_y rapidně omezená. V prvé řadě je nutno brát v potaz tepelnou stabilitu materiálu břitových destiček a zejména pak odolnost tohoto materiálu vůči mechanickému ale i teplotnímu zatížení. Díky rostoucímu posuvu f_z roste také tepelné zatížení břitu především jeho teplota a intenzita opotřebení. Abychom zachovali danou trvanlivost břitu je nutno okamžitě snížit řeznou rychlost v_c . Tento krok ovšem snižuje výkon frézování. Proto u běžných tvarů břitových destiček pro frézování, není možno zvýšit požadovaný výkon frézy zvýšením posuvu f_z . [9,13]

Abychom dosáhli větších posuvů u frézování je nutno brát v úvahu experimenty, zejména pak ty, které pojednávají o tom, že veškerá mechanická energie se přemění v teplo. Tato přeměna se uskutečňuje díky plastické deformaci obráběného materiálu obrobku. Oblasti plastické deformace se nachází v primární, sekundární i terciální oblasti obrobku. Nežádoucí teplo, které vzniká v důsledku tohoto obrábění je nutno odvádět z tělesa břitové destičky, nejlépe do okolního prostředí. Tento úkon nám zajistí, aby bylo dosaženo určité úrovně pracovní teploty břitové destičky. To má za následek, že břitová destička bude mít stálý záběr. Nebude narůstat míra intenzity opotřebení destičky, která by mohla výrazně zkrátit požadovanou životnost. [9]

Pokud chceme, aby břit účinně odváděl teplo, musíme bezpodmínečně dosáhnout zvětšení aktivní délky břitu, což znamená, že musíme prodloužit délku ostří vyměnitelné

břítové destičky, které je v kontaktu s obráběným materiálem. Obrázek (3.1) demonstuje tři různé příklady, které mohou nastat. Daná hloubka řezu a_p , která je odebírána frézami s vyměnitelnými břítovými destičkami pod různými úhly nastavení pro $\kappa_r = 90^\circ$, 75° a 45° . Z těchto tří obrázků vyplývá, že vlivem snížení úhlu se mění i aktivní délka břitu. Pro nastavení úhlu $\kappa_r = 90^\circ$, je aktivní délka břitu shodná s axiální hloubkou řezu a_p a proto je daná hloubka třísky totožná s posuvem fz. [9]

Pro nastavení úhlu $\kappa_r = 75^\circ$, se aktivní délka břitu výrazně zvětší. Pokud porovnáme tento obrázek s předchozím případem, tak úhel nastavení $\kappa_r = 75^\circ$ se bezmála o 8% zvětší a současně se zmenší tloušťka třísky o 4%. Pro nastavení úhlu $\kappa_r = 45^\circ$, je délka aktivní části břitu ab o 54 % větší. Tloušťka odřezávané vrstvy se zmenší o 29% což je možno pozorovat na obrázku 3.1 c).



Obr. 3.1 Naklonění břítových destiček (a, b, c) [9]

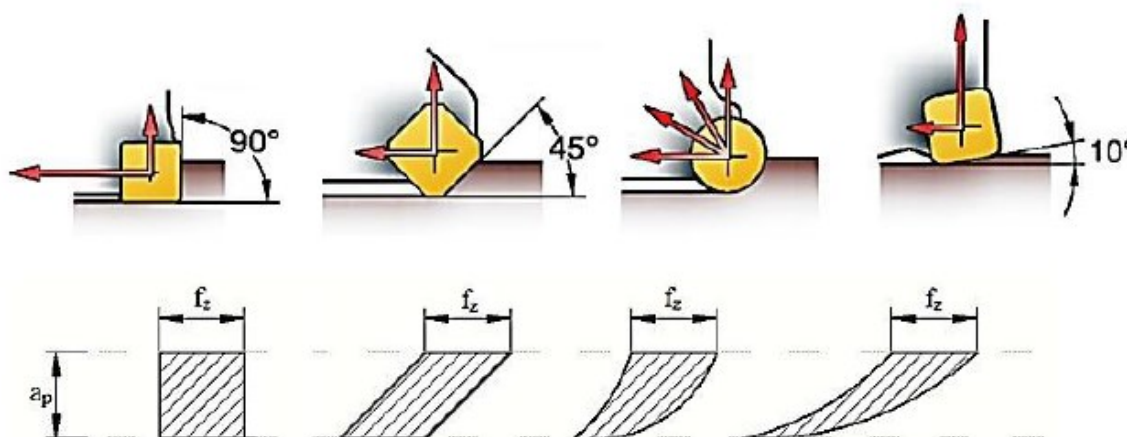
Z obrázku je patrné, že odvod tepla se mění kvůli zmenšování úhlu nastavení, tyto teplotní změny jsou v obrázku vykresleny, pro všechny tři příklady. Větší aktivní část břitu nám dává možnost použít daleko větší posuv fz. Díky tomu, lze zmenšit opotřebení funkčních ploch břitu. [9]

Abychom docílili efektivního zvětšení této části břitu, musíme použít vyměnitelné břítové destičky kruhovitěho tvaru. Výhodou těchto kruhových destiček je, že nedochází k tak velké koncentraci tepla. Obecně však platí, že tyto destičky mají větší odolnost proti cyklickému zatížení břitu, což je pro frézování velmi důležité. Pokud použijeme kruhové břítové destičky s obloukovým ostřím, docílíme tím zvětšením aktivní délky břitu, což bude mít za následek k lepšímu odvodu tepla. Je nutno dodat, že při aplikaci kruhového ostří dojde k podstatnému zmenšení střední tloušťky třísky. Tímto vzroste specifický řezný odpor

a hlavní složka řezné síly. Nárůst této síly dokáže vyvolat námi nežádoucí torsní vibrace, hlavně při velkém namáhání nástroje. [9]

3.2 Břitové destičky používané pro vysokoposuvové frézování

Abychom docílili zvětšení délky pro aktivní část břitu je nutno použít kruhové destičky, tyto destičky mají menší nastavení hlavního ostří. Toto nastavení napomáhá tomu, aby nástroj mohl pracovat ve vysokých rychlostech a to bez rizika jeho přetížení. Kruhové destičky mají tu výhodu, že na špičce nedochází k nežádoucí koncentraci tepla, tento fakt má za následek vyšší odolnost proti cyklickému namáhání břitu. Cyklické zatížení břitu je nežádoucím faktem v obrábění jako takovém a zvyšováním této odolnosti je pro frézování velmi důležité. Kruhové destičky mají obloukové ostří, které zvětšuje aktivní délku břitu, díky tomu tyto destičky dokáží daleko lépe odvádět nežádoucí teplo. Díky tomuto jevu jsou kruhové destičky velmi důležitým faktem pro frézování vysokými posuvy. Vzhledem k větší aktivní délce kruhového břitu se při určitém průřezu třísky $A = f_z \cdot a_p$ rozloží zatížení na větší délku břitu. Směr odvodu nežádoucího tepla z prostoru břitové destičky je znázorněn v obrázku 3.2 Schéma geometrie VBD pro vysoké posuvy [9]



Obr. 3.2 Schéma geometrie VBD pro HFC [9]

3.3 Výhody vysokoposuvového frézování

Při vysokoposuvovém frézování dochází k menšímu radiálnímu zatížení stroje, to má za následek daleko lepší směr řezné síly a zmenšení vibrací. Díky tomu je možno dosáhnout daleko větší efektivity a produktivity výroby. Faktem je, že oproti konvenčnímu frézování lze dosáhnout až 60% snížení strojního času. Menší hloubka řezu se dá adekvátně nahradit zvýšením řezné rychlosti, to má za následek výrazné zvýšení produktivity.[9,14]. Pokud porovnáme příkon a řezné síly s jinými formami frézování, budou bezpochyby nižší. Díky tomu dosahujeme vysoké životnosti nástroje, to je způsobeno tím, že dochází k nízkému

opotrebení ostří. Za předpokladu, že docílíme nízkého opotrebení ostří, tak budeme moci frézovat materiál s problematickými vlastnostmi. Tím se rozumí například vysoká tvrdost, dobrá houževnatost, nízká tepelná vodivost, vyšší obsah manganu nebo nižší obsah síry. [15]

Frézy, které jsou konstruovány pro frézování vysokým posuvem, lze konstruovat s větším vyložením a to až o sedmi násobek průměru. Na druhou stranu je nutno použít speciálních držáků nástrojů. Tyto držáky, především tlumí vibrace a to má za následek dále nezvětšující deformaci nástroje. Vysokoposuvové frézy mají dlouhodobou životnost nástroje, díky silám, které působí na vřeteno a tím maximalizují stabilitu procesu. Tím dochází k výraznému minimalizování vibrací. Při frézování vysokými posuvy může být dosaženo extrémních rychlostí úběru kovu. Jak už bylo zmíněno, tak důsledkem snížení radiálních sil je možná konstrukce fréz s velkým vyložením. Tyto nástroje se hodí pro frézování s axiálním přísuvem, které se používá pro výrobu forem. [9].

VÝHODY

- vyšší rychlost obrábění
- Významné snížení strojního času
- Eliminaci tepelných deformací
- Zvýšení rozměrové přesnosti obrobku.
- Zlepšení kvality obrobeného povrchu
- šetření ložisek vřetene

NEVÝHODY

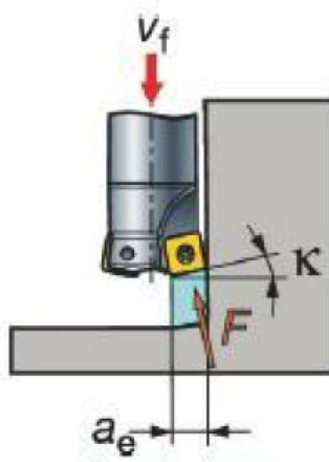
- Nákladné strojní vybavení
- Speciální nástroje a rezné materiály s větší pořizovací cenou
- Speciální přesné upínání rezných nástrojů
- Speciální upínání obrobků
- Odstraňování velkého objemu třísek za jednotku času

3.4 Axiální frézování

Při axiálním frézování se frézuje čelem nástroje, nikoliv obvodem tohoto nástroje. Tento fakt je výhodný pro změnu charakteru řezných sil, především radiálních na axiální. Tento způsob frézování je možno přirovnat k vyvrtávací operaci s přerušovaným řezem. Nároky na stroj i hlučnost procesu jsou velmi nízké. Nízká rychlost úběru materiálu je velkou nevýhodou této technologie [16]

Obecně je pro tento druh frézování je doporučeno

- používá se pro vřetena s horizontální orientací,
- použití chladicí emulze vede k lepšímu odvedení třísek,
- kvůli zamezení vibracím používat menší hloubku řezu. [16]



Obr. 3.3 Axiální frézování[9]

4 Diskuse experimentů

Analýza vybrané konkurence a nástrojů Dormer Pramet

Společnost Ingersoll nabízí široký sortiment nástrojů a VBD pro frézování austenitických ocelí. Z toho důvody byly vybrány pro účely analýzy, destičky čtvercového a pětiúhelníkového typu a konkurenční fréza od výrobce Ingersoll s označením DD6H - 20R01 a břitové destičky čtvercového a pětiúhelníkového typu.

4.1 Konkurenční nástroje pro HFC Ingersoll

Obráběcí nástroje Ingersoll patří již dlouhou dobu k největším světovým dodavatelům. Svůj první patent řezného nástroje byl uskutečněn v roce 1889, od té doby se společnost snaží poskytnout nejdokonalejší a nejproduktivnější řešení v oblasti obrábění na světovém trhu. Výroba této společnosti našla uplatnění jak v USA, tak i v Evropě. Dnes tato společnost nabízí nejširší sortiment obráběcích nástrojů na světě a spolu s úzkými vazbami na mnoho různých společností, jako například IMC Group, které poskytují mnoho zajímavých inovací v procesu obrábění. Společnost Ingersoll si klade za cíl, zůstat konkurenceschopnými v rychle se měnícím výrobním prostředí světového trhu.

Oboustranné čtverce

Frézovací nástroj typu ISO PLUS, od výrobce Ingersoll, člena IMC Group (Iscar), patří také mezi ekonomické nástroje v oblasti frézování vysokými posuvy. Námi zvolený typ frézy o průměru $D = 50 \text{ mm}$ s typovým označením DD6H-20R01 je uveden na (Obr. 4.1)



Obr. 4.1 Oboustranné čtvercové destičky a fréza typu DD6H-20R01 –Ingersoll

Vybraná fréza je konstrukčně řešena jako nástrčná s upínáním do sklíčidla pomocí šroubu. Fréza je dále opatřena povrchovou úpravou a to niklováním, které zajišťuje vysokou

kvalitu. VBD jsou upínány do lůžek šroubky. Tvar a velikost VBD byl zvolen dle katalogového listu výrobce Ingersoll s přihlédnutím na typ obráběného materiálu. VBD čtvercového tvaru s označením SNGU1205ENN; IN2035 a SNGU1205ENN; IN2530 jsou určeny pro obrábění materiálů skupiny M. Díky tomu, že břitové destičky jsou oboustranného čtvercového typu, tak nabízí celkem 8 řezných hran. Na čele jednotlivých břitových destiček se nachází fazetky, které mají příslušnou velikost a zaoblení řezné hrany. Námi zvolené břitové destičky byly opatřeny PVD a CVD povlaky.

Oboustranné pětiúhelníky

Druhým frézovacím nástrojem je nástroj typu HI FEEDDEKA pocházející rovněž z portfolia firmy Ingersoll, podobných rozměrů. Typové označení zvolené frézy je DP5G-20R01 a nabízí velmi dobré ekonomické řešení pro oblast frézování vysokými posuvy. Námi zvolená fréza je znázorněna na obrázku 4.2.

Z hlediska konstrukce je tato fréza řešena podobně jako předcházející nástroj. Fréza je řešena také jako nástrčná s upínáním do sklíčidla pomocí šroubu, dále je opatřena povrchovou vrstvou niklováním. VBD se upínají do lůžek frézy za pomocí šroubů. Tvar a velikost VBD byl zvolen dle katalogového listu výrobce Ingersoll podle typu obráběného materiálu. Dle katalogu byly zvoleny oboustranné pětiúhelníkové VBD typu PNCQ0804ZNTN; IN2005, které mají 10 řezných hran a jsou opatřeny PVD povlakem. Tyto VBD jsou určeny pro obrábění materiálů skupiny M a P. Jednotlivé břity jsou opatřeny fazetkami na čele a příslušnou velikostí zaoblení řezné hrany.



Obr. 4.2 Oboustranné pětiúhelníkové destičky a fréza typu DD6H-20R01 –Ingersoll

4.2 Nástroje Dormer Pramet

Společnost Dormer Pramet nabízí široký sortiment nástrojů pro HFC s vyměnitelnými břitovými destičkami například stopkové frézy Penta HF, nástrčné frézy Penta HF nebo stopkové frézy FEED ZD. Pro všechny tyto nástroje společnost nabízí širokou škálu jednostranných vyměnitelných břitových destiček s označením ZDCW a velikostmi 7, 9 a 12 mm, které však nabízí pouze 4 nebo 5 řezných hran. Jsou navrženy pro obrábění skupin P, K a H materiálů. VBD jsou vhodné pro lehké a střední frézování při malých hloubkách řezu. Daný rozsah posuvu na zub f_z těchto břitových destiček pro materiály skupin P a K, se nachází v rozmezí od 0,15 až do 1,5 mm. Hloubka řezu pro tyto dva materiály je od 0,3 až do 1 mm. Tyto hodnoty popisuje funkční diagram, který je přidělen ke konkrétní VBD. Aby však společnost uspěla na poli konkurence a sledovala nejmodernější trendy v obrábění, zaměřila se na vývoj destiček oboustranných čtverců a oboustranných pětiúhelníků, které by měli nabídnout dvakrát větší počet řezných hran, než je tomu teď. V současné době jsou navrženy a vyrobeny prototypy VBD typu oboustranný čtverec a oboustranný pětiúhelník, který nabídne zákazníkům úsporu strojního času.

Oboustranný čtverec

Frézovací nástroj typu 32E3RO40M16-SSN07-C-P01, od výrobce Dormer Pramet, Zvolený typ frézy o průměru $D = 32$ mm a výšky 40 mm, je konstruován k upnutí třech břitových destiček. Fréza se upíná do sklíčidla pomocí šroubu se závitem M16 a je opatřena kanály pro přívod chladicí kapaliny, která snižuje generované teplo a usnadňuje odvod obrobeného materiálu. Povrch této frézy je opatřen niklováním. Niklovaná vrstva je aplikovaná v rozmezí od 5 až do 7 μm . Fréza je vyrobena z nástrojové oceli nesoucí označení dle ČSN 19552.7



Obr. 4.3 Frézovací nástroj typu 32E3RO40M16-SSN07-C-P01

Destičky nesou prototypové označení SNGX07T308SR-M-P01, SNGX07T308SR-M-P02 se hodí převážně k obrábění materiálů třídy P, K a H. Obě dvě prototypové destičky jsou konstruovány se zaoblením řezných hran 35 μm , jsou opatřeny PVD povlakem a jejich upnutí k nástroji je řešen speciálním šroubem se závitem M3. Rozsah řezných podmínek těchto destiček, jakožto rychlost posuvu ($f_z = 0,5 - 1,5 \text{ mm}$) se některak neliší od jednostranných destiček. Markantním rozdíl je však v maximální hloubce řezu a_p až 1,5 mm.



Obr. 4.4 VBD SNGX07T308SR-M-P01 a SNGX07T308SR-M-P02

Oboustranný pětiúhelník

Frézovací nástroj typu 32E3RO40M16-SPN05-C-P01, od výrobce Dormer Pramet, také bez pochyby patří mezi ekonomické nástroje v oblasti frézování vysokými posuvy. Zvolený typ má stejné parametry jako frézovací nástroj typu 32E3RO40M16-SSN07-C-P01. Fréza má stejný průměr D, velikost a je rovněž konstruována k upnutí třech břitových destiček pomocí šroubu M3. Fréza se upíná do sklíčidla šroubem se závitem M16 a je opatřena kanály pro přívod chladicí kapaliny. Fréza se liší od předchozího případu pouze uložením břitové destičky do lůžka frézky.

Pětiúhelníkové destičky mají prototypové označení PNGX05T308SR-M-P01 a PNGX05T308SR-M-P02 se zaoblením řezných hran rovněž 35 μm , jak tomu bylo u čtvercových oboustranných destiček. Nabízí zákazníkům 10 řezných hran a geometrie M je předurčena pro obrábění materiálů skupin P a H. Materiál pro výrobu destiček SN6X07 a PN6X0T byl zvolen vysoce ořezuvzdorný materiál M8310. Tento materiál se vyznačuje novým multivrstevnatým PVD povlakem černé barvy.



Obr. 4.5 Frézovací nástroj typu 32E3RO40M16-SPN05-C-P01



Obr. 4.6 VBD PNCX05T308SR-M-P01 a PNCX05T308SR-M-P02

4.3 Funkční zkoušky obrábění

Funkční zkoušky byly zahájeny na nástrojové oceli s označením X38CrMoV5-1. V současné době jsou připraveny prototypy společnosti Dormer Pramet určené pro frézování korozivzdorných ocelí. Ve vývoji jsou připraveny dva prototypy typu oboustranný čtverec a pětiúhelník s ostřejší geometrií, tyto VBD nebyly otestovány z kapacitních důvodů zkušebního centra

Funkční zkoušky byly zaměřeny na funkčnost nástroje v řezu. Dále bylo sledováno dosažení jakosti obrobene plochy a zatížení vřetene. Cílem těchto experimentálních funkčních zkoušek bylo ověřit nástroj při různých parametrech obrábění, zejména však

proměnlivý posuv na zub f_z a proměnlivá axiální hloubka řezu a_p . Drsnost povrchu však vždy nehraje u HFC nástrojů důležitou roli, protože se jedná o vrubovací nástroj.

Porovnávali se obě navržená řešení. Prototyp oboustranného čtverce a oboustranný pětiúhelník a jejich prototypy geometrii P01 a P02. Především byl kladen důraz na geometrii se zaoblením řezných hran 35 μm .

Zkoušky byly prováděny na frézovacím centru MCV 1270 s obráběným materiálem – nástrojová ocel X38CrMoV5-1 (ČSN 19 552, DIN), který se vyznačuje velmi dobrými vlastnostmi za tepla. Všechny experimentální zkoušky byly prováděny za konkrétně zvolených podmínek.

4.3.1 Frézovací centrum

Frézovací centrum MCV 1270 Power od společnosti Kovosvit MAS se nachází v testovacích prostorech společnosti Dormer Pramet. Tyto prostory slouží k vývoji nových vyměnitelných břitových destiček a nástrojů společnosti. Probíhali zde veškeré praktické zkoušky experimentů. Technické parametry frézovacího centra, jsou uvedeny v následující tabulce 4.1

Tabulka 4.1 Parametry frézovacího centra

Název	Hodnota
Pracovní rozsah osa x-y-z	1270 - 610 - 720 (mm)
Maximální zatížení stolu	1200 (Kg)
Velikost upínací plochy	1500 x 670 (mm)
Velikost stroje (délka x šířka x výška)	5000 x 3600 x 3330 (mm)
Počet míst v zásobníku stroje	30 ks (ISO 40); 24 ks (ISO 50)
Výkon motoru S1/S6 – 25 % (40 %)	ISO 40 (28/43); ISO 50 (28/43) (kW)
Maximální otáčky vřetena stroje	8000 ot · min ⁻¹



Obr. 4.7 Frézovací centrum typ MCV 1270 Power

4.3.2 Vlastnosti obráběného materiálu

Zkoušky byly prováděny na materiálu značeného dle evropské normy X38CrMoV5 – 1. Praktické zkoušky budou probíhat na austenitické oceli v následujících měsících. [15]

Obráběná ocel se vyznačuje velmi dobrými pevnostními vlastnostmi za tepla. Jedná se o legovanou ocel s vysokou prokalitelností a houževnatostí. Má dobrou tepelnou vodivost, odolnost k tvorbě trhlin za tepla a malou citlivost na prudké změny teploty. Je dobře lešitelná a vhodná k nitridaci. [17]

Ocel se používá na nástroje pro lisování za tepla a formy pro tlakové lití. Zejména se využívá na nástroje pro zpracování lehkých kovů, například lisovací třmeny, lisovací matrice pro tlakové lití hliníku, zinku a hořčíku, průtlačné lisování, kovací a lisovací zápustky, tvarové části forem, šneky pro zpracování umělých hmot, nitridované vyhazovače, nože nůžek pro stříhání za tepla, razníky, průtlačníky na neželezné kovy nebo formy na plasty. [17]

Tabulka 4.2 Mechanické vlastnosti nástrojové oceli X38CrMoV5-1

Mechanické vlastnosti materiálu X38CrMoV5-1	
Mez pevnosti Rm	1500 MPa
Mez kluzu v tlaku Ret MPa	1150-1750 (při tvrdosti 40 – 53 HRC)
Tvrdost HB	max 240

Tabulka 4.3 Chemické složení nástrojové oceli X38CrMoV5-1

Chemické vlastnosti materiálu X38CrMoV5-1			
C [%]	Si[%]	Mn[%]	P max [%]
0,36-0,42	0,90-1,20	0,30-0,50	0,030
S max[%]	Cr[%]	Mo[%]	V[%]
0,030	4,80-5,50	1,10-1,40	0,25-0,50



Obr. 4.8 Materiál nástrojová ocel - X38CrMoV5-1 [17]

4.3.3 Volba řezných podmínek pro funkční zkoušky

Hodnoty řezných podmínek se vybírali na základě zkušenosti pracovníku výzkumného oddělení společnosti Dormer Pramet, aby bylo dosaženo co možno nejlepší jakosti obrobeného povrchu testovacího vzorku. Tyto nejvhodnější podmínky jsou znázorněny v následujících tabulkách, zvlášť rozdělené pro oboustranný čtverec a oboustranný pětiúhelník.

Tabulka 4.4 Volba řezných podmínek oboustranný čtverec

Oboustranný čtverec SNGX07T308SR-M		
Název parametru	Hodnota	Jednotka
Axiální hloubka řezu a_p	0,5;1,0;1,5	[mm]
Šířka záběru a_e	20	[mm]
Řezná rychlost v_c	200	[m/min]
Posuv na zub f_z	0,50;1,00;1,50;2,00;2,50;3,00	[mm]
Průměr frézy $\varnothing D$	32	[mm]
Efektivní průměr frézy $\varnothing E$	24,6;30,3;34,6	[mm]
Počet zubů frézy z	3	[-]
Úhel ostří κ	13,0	[°]

Tabulka 4.5 Volba řezných podmínek oboustranný pětiúhelník

Oboustranný pětiúhelník PNGX05T308SR-M		
Název parametru	Hodnota	Jednotka
Axiální hloubka řezu a_p	0,5;1,0;1,5	[mm]
Šířka záběru a_e	20	[mm]
Řezná rychlost v_c	200	[m/min]
Posuv na zub f_z	0,50;1,00;1,50;2,00;2,50;3,00	[mm]
Průměr frézy $\varnothing D$	32	[mm]
Efektivní průměr frézy $\varnothing E$	27,1;29,6;32	[mm]
Počet zubů frézy z	3	[-]
Úhel ostří κ	22	[°]

4.4 Zkoušky obrábění na trvanlivost

Zkoušky zaměřené na trvanlivost VBD, byly prováděny rovněž na zmiňovaném obráběcím centru MCV 1270. Tyto zkoušky se zaměřovali na výrazné opotřebení VBD typu oboustranný čtverec a oboustranný pětiúhelník se zaoblením řezných hran 35 μm . Testování bylo prováděno na oceli X38CrMoV5-1.

Zkoušky obrábění na trvanlivost měly za cíl otestovat VBD až do změny řezné geometrie. Byly zkoušeny VBD od každého zástupce s typovým označením

SNGX07T308SR a PNGX05T308SR. V následujících dvou tabulkách jsou znázorněny řezné podmínky těchto zkoušek.

4.4.1 Volba řezných podmínek pro zkoušku trvanlivosti

Tabulka 4.6 Řezné podmínky oboustranného čtverce

Oboustranný čtverec SNGX 07T308SR	
Název	Hodnota
Šířka frézovací plochy [mm] a_e	20,00 mm
Hloubka řezu [mm] a_p	0,50 mm
Posuv [mm/min] f_{min}	9131 mm/min
Posuv [mm] f_z	1,50 mm
Otáčky [ot/min] n	2029 ot/min
Řezná rychlost [m/min] v_c	160 m/min

Tabulka 4.7 Řezné podmínky oboustranného pětiúhelníku

Oboustranný pětiúhelník PNGX 05T308SR-M	
Název	Hodnota
Šířka frézovací plochy [mm] a_e	20,00 mm
Hloubka řezu [mm] a_p	0,50 mm
Posuv [mm/min] f_{min}	8457 mm/min
Posuv [mm/zub] f_{zub}	1,50 mm
Otáčky [ot/min] n	1879 ot/min
Řezná rychlost [m/min] v_c	160 m/min

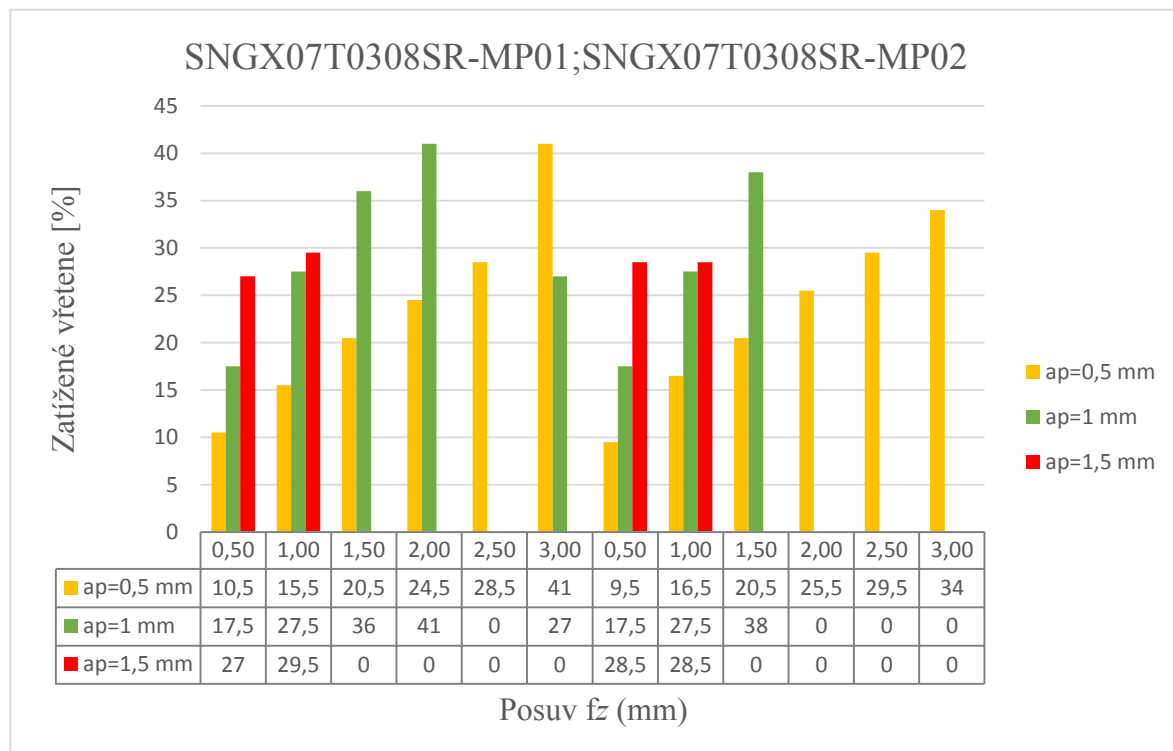
4.5 Vyhodnocení funkčních zkoušek

Funkční zkoušky byly zaměřeny na sledování zatížené vřetene a na míru drsnosti obráběného materiálu. Tyto zkoušky se prováděly na již zmiňovaném frézovacím centru MCV 1217 Power, který se nachází ve vývojové části společnosti. Zkoušky zatížení vřetene byly vyhodnoceny pomocí grafů 4.1 a 4.2 společně pro destičky typu oboustranný čtverec s prototypovými označeními SNGX 07T0308SR-M-P01 a SNGX07T0308SR-M-P02 a pro typ oboustranný pětiúhelník PNGX05T308SR-M-P01 a PNGX05T308SR-M-P02. Při posuvu na zub 0,50 až 3,00 milimetrů. V těchto zkouškách si nejlépe vedla VBD SNGX 07T0308SR-M-P01 se zaoblením řezných hran 35 μ m. Destička měla při 2 mm posuvu na zub a hloubce řezu 1 mm, zatížení vřetene 41 %, oproti dalším testovaným destičkám, které v těchto zkouškách neobstály.

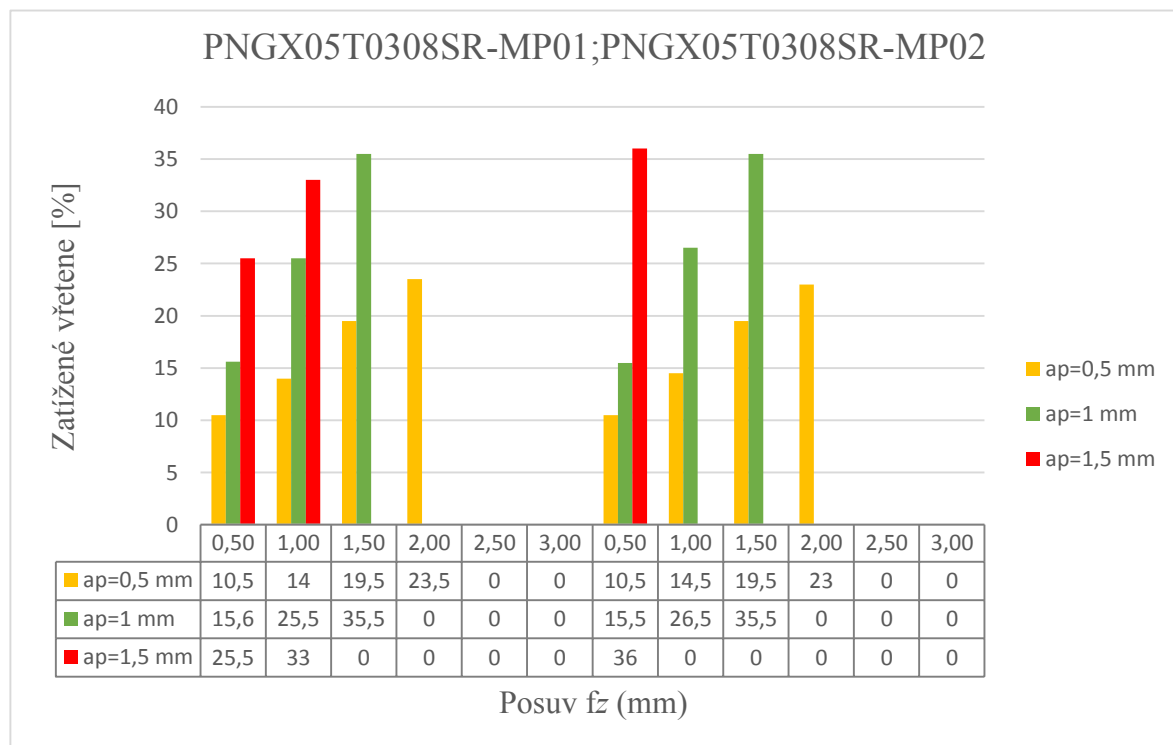
Naměřená drsnost je znázorněna v grafu 4.3 a 4.4. U HFC není drsnost povrchu rozhodujícím faktem, daleko důležitější je množství odebraného materiálu za jednotku času.

V těchto zkouškách obstála již zmiňovaná VBD typu SNGX 07T0308SR-M-P01 se zaoblením řezných hran 35 μm .

4.5.1 Vyhodnocení zatížení vřetene

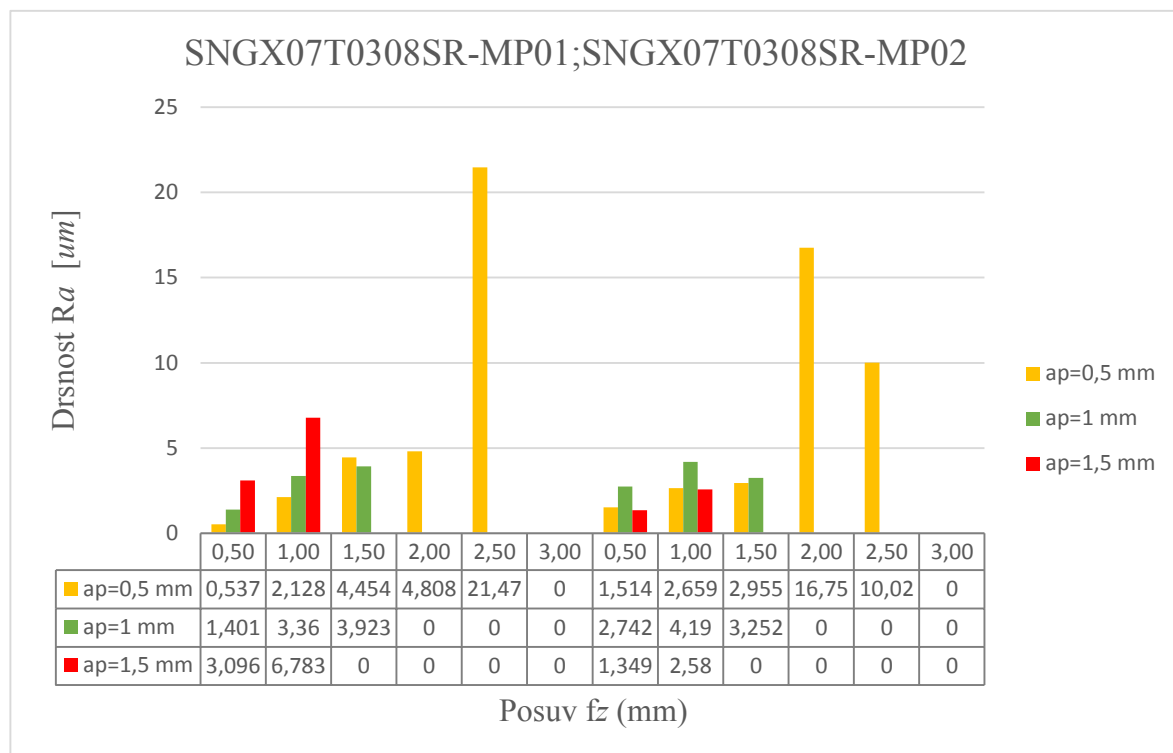


Graf 4.1 Zatížení vřetene- Oboustranný pětiúhelník

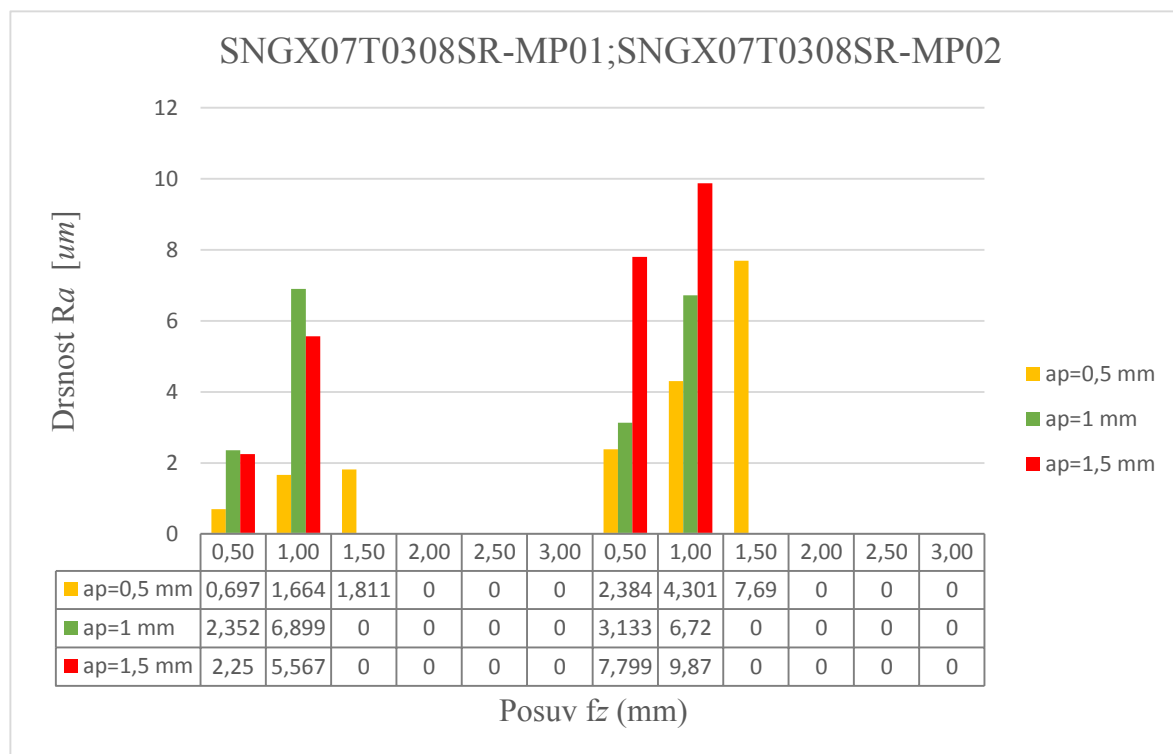


Graf 4.2 Zatížení vřetene – Oboustranný pětiúhelník

4.5.2 Vyhodnocení měření drsnosti povrchu



Graf 4.3 Měření drsnosti – Oboustranný čtverec



Graf 4.4 Měření drsnosti – Oboustranný pětiúhelník

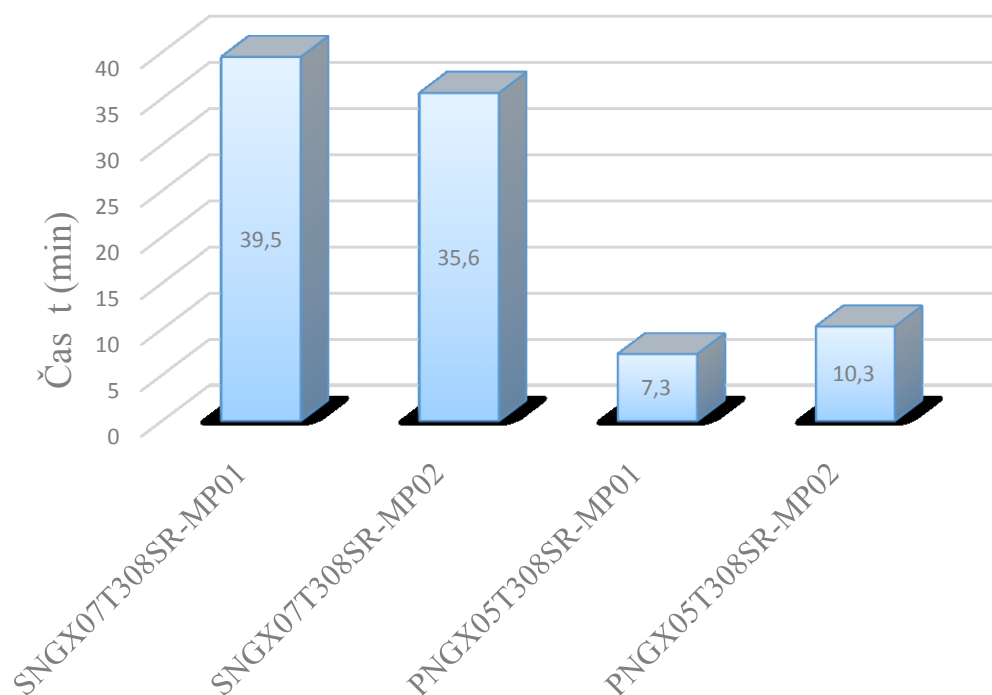
4.6 Vyhodnocení – zkoušek obrábění na trvanlivost

Zkoušky, které byli zaměřeny na trvanlivost vyměnitelných břitových destiček, se prováděli pro prototypové destičky typu oboustranný čtverec a oboustranný pětiúhelník. Tyto vyměnitelné břitové destičky byli testovány na legované oceli s vysokou prokalitelností a houževnatostí. Tato ocel nese označení X38CrMoV5-1.

Jak je možné vyčíst z grafu 4.5 tak byli testováni dva typy vyměnitelných břitových destiček s konstrukčním označením SNGX 07T308SR pro oboustranný čtverec a PNGX05T308SR pro oboustranný pětiúhelník. Pro každého zástupce vybraného typu byli zvoleny dva prototypy různých vlastností s označením SNGX07T308SR-MP01, SNGX07T308SR-M-P02 a PNGX05T308SR-M-P01, PNGX05T308SR-M-P02. Z grafu je možno vyčíst, že u této zkoušky, zaměřené na trvanlivost vyměnitelných břitových destiček, neobstály destičky pětiúhelníkového typu s označením PNGX05T308SR-MP01, PNGX05T308SR-MP02 a proměnlivou geometrií 35 μm . Destička MP01 byla značně poškozena v oblasti čela i hřbetu už po 7,3 minutách. Druhá destička MP02 si vedla lépe, ale její poškození bylo znatelné po 10,3 minutách.

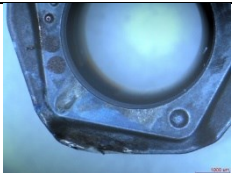

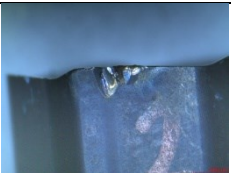
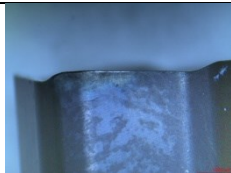
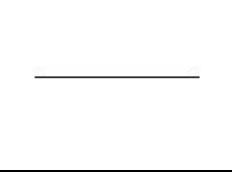
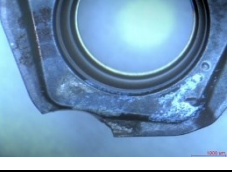
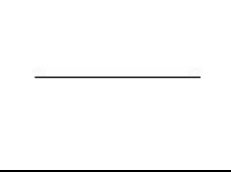
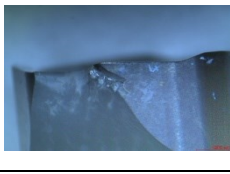
V těchto zkouškách zaměřených na trvanlivost si výrazně dobře vedly destičky typu oboustranný čtverec s označením SNGX07T308SR-MP01, SNGX07T308SR-MP02 a proměnlivou geometrií také 35 μm . Prototypová destička MP01 byla značně poškozena v oblasti břitu a čela po 39,5 minutách, což byl nejlepší výsledek těchto zkoušek. Destička MP-02 si vedla o něco hůře, její poškození bylo znatelné při 35,6 minutách, tato destička byla druhou nejlepší těchto zkoušek. Tento fakt, že destičky vydržely daleko delší dobu, než tomu bylo v předchozích případech, bylo způsobeno hlavně tím, že destičky čtvercového typu mají nastavení úhlu κ 13°, kdežto destičky pětiúhelníkového typu 22°. To má za následek, že na pětiúhelníkové destičky působí větší síly. Tyto síly působí na celkovou geometrii vyměnitelných břitových destiček. Graf 4.5 porovnává výsledné časy všech čtyř testovaných vzorků. Břitové destičky byli při zkouškách foceny v 8 a 4 minutových intervalech. Tyto fotky byli následně porovnány do dvou tabulek značené 4.8 a 4.9, pro oboustranný čtverec a pětiúhelník.

Trvanlivostní srovnání VBD ocel X38CrMoV5-1




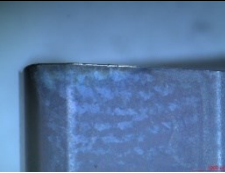
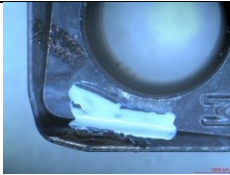

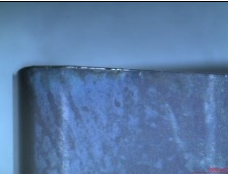
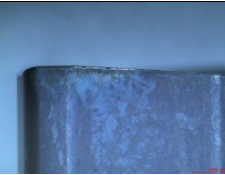

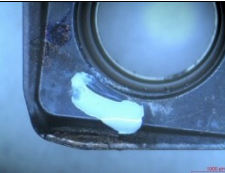

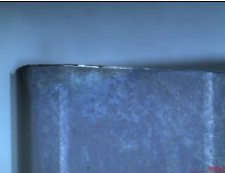
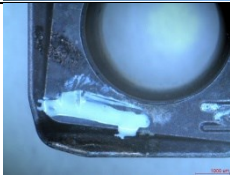
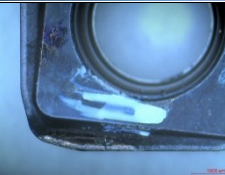


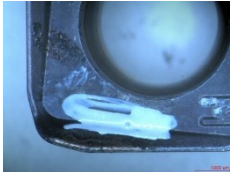













Graf 4.5 Srovnání zkoušky na trvanlivost srovnání VBD

Tabulka 4.9 Zkouška na trvanlivost VBD typu oboustranný pětiúhelník

Oboustranný pětiúhelník				
	Opotřebení čela		Opotřebení hřbetu	
Typ VBD	PNGX05T308SR-M-P01;M8310	PNGX05T308SR-M-P02;M8310	PNGX05T308SR-M-P01;M8310	PNGX05T308SR-M-P02;M8310
Vzorek	B2	D1	B2	D1
8 min				
16 min				

Tabulka 4.8 Zkouška na trvanlivost VBD typu oboustranný čtverec

Oboustranný čtverec				
	Opotřebení čela		Opotřebení hřbetu	
Typ VBD	SNGX07T308S R-M-P01;M8310	SNGX07T308SR -M-P02;M8310	SNGX07T308SR -M-P01;M8310	SNGX07T308SR -M-P02;M8310
Vzorek	B1	D1	B1	D1
8 min				
16 min				
24 min				
28 min				
32 min				
36 min				
40 min				

5 Ekonomické vyhodnocení

Byly vyvinuty vyměnitelné břitové destičky typu oboustranný čtverec s označením SNGX07T308SE-M-P01; SNGX07T308SE-M-P02 a oboustranný čtverec s označením PNGX05T308SR-M-P01; PNGX05T308SR-M-P02. Tyto dva odlišné prototypy se vzájemně liší geometrií břitu, a byly testovány na nástrojové oceli X38CrMoV5-1.

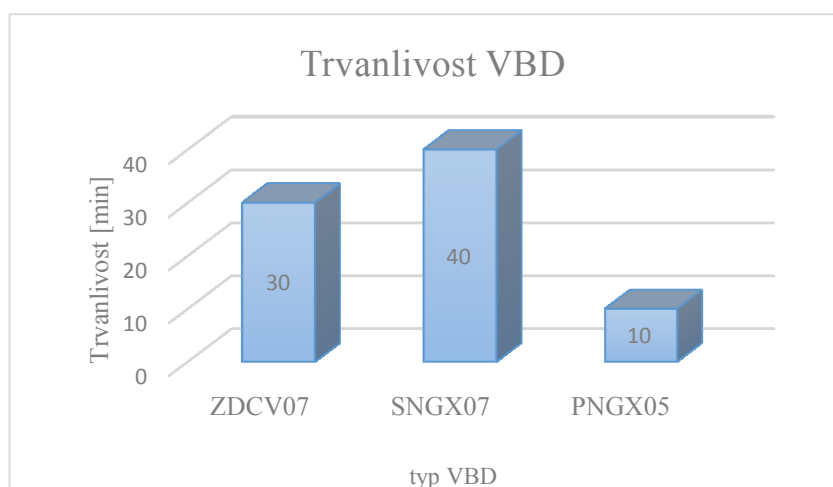
V následující tabulce 5.1 jsou znázorněny VBD obou zástupců prototypů a také VBD typu ZDCV07, která již je nabízena zákazníkům a na základě této VBD bylo srovnáno ekonomické zhodnocení, jako je cena a také cena jedné řezné hrany.

Tabulka 5.1 Vyhodnocovací tabulka VBD

TYP VBD	TRVANLIVOST [min]	CENA [Kč]	POČET ŘEZNÝCH HRAN [-]	CENA ŘEZNÉ HRANY [Kč]
ZDCV07	30	207	4	52
SNGX07	40	300	8	37
PNGX05	10	350	10	35

V následujícím grafu 5.1 je znázorněn časový průběh opotřebení, který byl testován v rámci praktických zkoušek. Nejhůře obstála VBD typu oboustranný pětiúhelník s typovým označením PNGX05T308SR

Z uvedené tabulky a grafu plyne, že vyměnitelná břitová destička typu SNGX07 bude pro zákazníka perspektivnější, než destička PNGX05. VBD typu oboustranný čtverec nabízí sice pouze 8 řezných hran, ovšem cena na jednu řeznou hranu destičky je přijatelná a při ohledu na trvanlivost je tato destička daleko efektivnější než VBD s více řeznými hranami.



Graf 5.1 Srovnání trvanlivosti VBD

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zkoumat frézování austenitických ocelí vysokými posuvy, první část bakalářské práce byla zaměřena na problematiku vysokoposuvového frézování HFC *High feed milling* a problematiku austenitických ocelí. V druhé části pak byly provedeny porovnávací zkoušky, od kterých se později vydedukoval závěr této bakalářské práce. Před začátkem těchto zkoušek byla provedena analýza konkurence Ingersoll, která vyrábí nástroje pro frézování austenitických ocelí.

Praktické zkoušky byly rozděleny do dvou po sobě jdoucích zkoušek a to na trvanlivost a zkoumání zatížení vřetene. Následně pak byla vyhodnocena drsnost obrobeného povrchu. Na samotném konci bakalářské práce lze najít ekonomické vyhodnocení VBD.

Výsledky již zmíněných funkčních zkoušek a zkoušek zaměřených na trvanlivost lze shrnout do následujících bodů:

- a) V těchto zkouškách, kde se sledovalo zatížení vřetene si nejlépe vedla vyměnitelná břitová destička SNGX 07T0308SR-M-P01 a SNGX 07T0308SR-M-P01 se zaoblením řezných hran 35 μm . Destička měla při 2 mm posuvu na zub a hloubce řezu 1 mm, zatížení vřetene 41 %, ve srovnání s dalšími testovanými destičkami, které v této zkoušce neobstály.
- b) Ve zkouškách zaměřené na drsnost obrobeného povrchu materiálu, obstála již zmiňovaná VBD typu SNGX 07T0308SR-M-P01 a SNGX 07T0308SR-M-P02 se zaoblením řezných hran 35 μm .
- c) Ve zkouškách zaměřených na trvanlivost si výrazně dobře vedly destičky typu oboustranný čtverec s označením SNGX07T308SR-MP01, SNGX07T308SR-MP02 a proměnlivou geometrií také 35 μm . Prototypová destička MP01 byla značně poškozena v oblasti břitu a čela po 39,5 minutách, což byl nejlepší výsledek těchto zkoušek. Destička MP-02 si vedla o něco hůře, její poškození bylo znatelné již při 35,6 minutách, tato destička byla druhou nejlepší těchto zkoušek.
- d) Na základě těchto zkoušek bylo dosaženo ekonomického závěru.

Závěrem lze doporučit, pokračování v testování VBD na austenitickém materiálu, tak aby bylo možné dojít ke srovnání VBD testovaných na nástrojové oceli X38CrMoV5-1 s VBD testovanými na oceli austenitické.

Nedosáhnou-li VBD podobných výsledků, jako při testování na nástrojové oceli, nedoporučuji zařazovat tyto destičky do výroby.

7 Seznam použité literatury

- [1] Profil společnosti. Dormer Pramet. [online]. [2011] [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.dormerpramet.com/cs-cz/company/who-we-are>
- [2] STRNAD, T. Obrobitelnost austenitické ocele. [online]. Západočeská univerzita v Plzni: Katedra Technologie Obrábění, 2011. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: https://portal.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=43007
- [3] ČÍHAL, Vladimír. *Korozivzdorné oceli a slitiny*. 1.vyd. Praha: Academia, 1999, 437 s. ISBN 80-200-0671-0
- [4] PŘÍRUČKA PRO TECHNOLOGY – OBROBITELNOST. Seco tools. [online]. [2011] [cit. 2016-04-15]. Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Slovakia/Aktuality/Patrick%20De%20Vos%20-%20cyklus/1/Seco_12bez%20reklamy.pdf
- [5] Charakteristika jednotlivých skupin korozivzdorných ocelí. Bohdan Bolzano s.r.o. [online]. (c) 1998 – 2004 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/charakteristika_korozivzdornych_oceli2.pdf
- [6] Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. MM Průmyslové spektrum. 2003, č. 6, s. 76. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcnimaterialy-2-2>
- [7] ČÍHAL, Vladimír. Mezikrystalová koroze ocelí a slitin. 2. vyd. Praha: SNTL, 1978, 408 s. DT 669.14:620.193.
- [8] PTÁČEK, Luděk a kolektiv. *Nauka o materiálu II*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [9] Interní materiály společnosti Dormer Pramet
- [10] STRNAD, T. Obrobitelnost austenitické ocele. [online]. Západočeská univerzita v Plzni: Katedra Technologie Obrábění, 2011. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: https://portal.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=43007
- [11] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [12] PÍŠKA, M., Dnešní vývojové trendy v obrábění a jejich důsledky. Brno, 2009.

- [13] Frézování s vysokou rychlostí posuvu. Sandvik. [online]. [2016] [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/face_milling/high_feed_milling
- [14] High Feed Milling Technology. Seco tools. [online]. © 2016 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.secotools.com/en-US/Global/Products/Milling/High-Feed-Milling/HFM-Technology/>
- [15] PÍŠKA, M., Dnešní vývojové trendy v obrábění a jejich důsledky. Brno, 2009
- [16] Všeobecné čelní frézování. Sandvik. [online]. [2015] [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/face_milling/general_face_milling
- [17] Nástrojové oceli pro práci za tepla. Böhler. [online]. [2016] [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.bohler.cz/czech/files/downloads/W300.pdf>

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Diagram austenitizace: 2 – globulární perlit; 4 – sorbit; 6 – martenzit [10]	17
Obr. 3.1 Naklonění břitových destiček (a, b, c) [9]	21
Obr. 3.2 Schéma geometrie VBD pro HFC [9]	22
Obr. 3.3 Axiální frézování[9]	24
Obr. 4.1 Oboustranné čtvercové destičky a fréza typu DD6H-20R01 –Ingersoll	25
Obr. 4.2 Oboustranné pětiúhelníkové destičky a fréza typu DD6H-20R01 –Ingersoll	26
Obr. 4.3 Frézovací nástroj typu 32E3RO40M16-SSN07-C-P01	27
Obr. 4.4 VBD SNGX07T308SR-M-P01 a SNGX07T308SR-M-P02	28
Obr. 4.5 Frézovací nástroj typu 32E3RO40M16-SPN05-C-P01	29
Obr. 4.6 VBD PNGX05T308SR-M-P01 a PNGX05T308SR-M-P02	29
Obr. 4.7 Frézovací centrum typ MCV 1270 Power	30
Obr. 4.8 Materiál nástrojová ocel - X38CrMoV5-1 [17]	31

Seznam tabulek

Tabulka 4.1 Parametry frézovacího centra	30
Tabulka 4.2 Mechanické vlastnosti nástrojové oceli X38CrMoV5-1	31
Tabulka 4.3 Chemické složení nástrojové oceli X38CrMoV5-1	31
Tabulka 4.4 Volba řezných podmínek oboustranný čtverec	32
Tabulka 4.5 Volba řezných podmínek oboustranný pětiúhelník	32
Tabulka 4.6 Řezné podmínky oboustranného čtverce	33
Tabulka 4.7 Řezné podmínky oboustranného pětiúhelníku	33
Tabulka 4.9 Zkouška na trvanlivost VBD typu oboustranný pětiúhelník	37
Tabulka 4.8 Zkouška na trvanlivost VBD typu oboustranný čtverec	38
Tabulka 5.1 Vyhodnocovací tabulka VBD	39

Seznam grafů

Graf 3.1 Srovnání obráběcích metod z hlediska úběru materiálu [12]	19
Graf 4.1 Zatížení vřetene- Oboustranný pětiúhelník	34
Graf 4.2 Zatížení vřetene – Oboustranný pětiúhelník	34
Graf 4.3 Měření drsnosti – Oboustranný čtverec	35
Graf 4.4 Měření drsnosti – Oboustranný pětiúhelník	35
Graf 4.5 Srovnání zkoušky na trvanlivost srovnání VBD	37
Graf 5.1 Srovnání trvanlivosti VBD	39